جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره پانزدهم، پاییز ۱۳۹٤

صص ۲٤-۱

شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با سناریوهای مدل گردش عمومی جو (hadcm3)

زهرا حجازی زاده ـ استاد گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

سید محمد حسینی ـ استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، همدان، ایران

علیرضا کربلائی درئی[۱] ـ کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹٤/۲/۱۹

چکیده

امروزه مدل‌سازی و برآورد فراسنج‌های آب‌وهوا شناختی به سبب گستردگی تغییرات اقلیمی، افکار اغلب اندیشمندان را به خود مشغول کرده است. ازاین‌رو در این پژوهش برای دستیابی به بازتولید داده‌های اقلیمی و مقایسه سناریوهای مدل گردش عمومی جو از سه متغیر مهم اقلیمی شامل بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه در استان سمنان استفاده شده است. بازهٔ زمانی داده‌های این فراسنج‌ها به‌صورت روزانه است که از بدو تأسیس چهار ایستگاه همدید بیارجمند، شاهرود، گرمسار و سمنان تا سال ۲۰۱۰ را شامل می‌شود و این دوره زمانی به‌عنوان دوره پایه، مورد بررسی قرارگرفته است. همچنین برای مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از مدل با داده‌های مشاهداتی از سناریوهای B1، A2 و A1B در مدل HadCM3 تحت برنامه ARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ به‌عنوان دوره آتی شبیه‌سازی بهره گرفته شد. درنهایت نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی‌شده این متغیرها ترسیم شد. نتایج حاکی از این است که به‌طورکلی سناریوهای مورد استفاده در مدل HadCM3، قابلیت بالایی در شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی در این استان را دارا می‌باشد و انطباق و همپوشانی نسبتاً بالایی بین داده‌های مشاهداتی در دوره پایه با داده‌های شبیه‌سازی‌شده در آینده وجود دارد؛ اما سناریوی A1B در اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی، توانمندی چشمگیرتری در شبیه‌سازی داده‌ها به‌ویژه در سه ماهه زمستان و بهار دارد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط سناریوها مربوط به ماه مارس و بیشترین دمای کمینه و دمای بیشینه از آن ژولای است. همچنین نقشه‌های پهنه‌بندی داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده متغیرهای مورد بررسی حاکی از این است که کاهش میزان بارش در سمت شرق، مرکز و شمال استان کاملاً مشهود است و دمای کمینه و بیشینه نیز در سمت شرق و شمال این استان، افزایش قابل توجهی خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: ریزمقیاس‌نمایی، گردش عمومی جو، تغییر اقلیم، مدل LARS-WG، استان سمنان.

---

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۳۲۷۷۰۵۱۱ Email: arbalaee20@gmail.com

۱. مقدمه

تغییر اقلیم[1]، از بزرگ‌ترین چالش‌هایی است که بشر در قرن بیست و یک با آن مواجه بوده است؛ چراکه می‌تواند اثرات شدیدی بر منابع آب، کشاورزی، انرژی، گردشگری و حتی زیست اقلیم انسان داشته باشد. توسعه استراتژی‌ها و تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد استفاده آب در آینده برای بخش‌های مختلف و مدیریت منابع آب در دسترس نیاز به اطلاعات تغییر اقلیم (از نظر بارش و درجه حرارت در مقیاس حوضه) دارند که به‌طور مستقیم می‌تواند با مدل‌های آب‌شناختی و آب‌وهواشناختی مورد استفاده قرار گیرد (هاشمی و همکاران،۲۰۱۰). این در حالی است که در سال‌های اخیر، مدل‌های تولیدکننده وضع آب‌وهوا کاربردهای فراوانی پیدا کرده است. ازجمله تولید داده‌های آب‌وهوایی با به‌کارگیری سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. چراکه با استفاده از این مدل‌ها، می‌توان خروجی مدل‌های گردش عمومی جو را ریزمقیاس[2] نمود. یکی از این مدل‌ها، مدل لارس (LARS-WG) می‌باشد که مورد توجه اندیشمندان زیادی در خارج و داخل ایران قرارگرفته است که به علت رعایت اصل اختصار، به برخی ازاین‌گونه پژوهش‌ها اشاره می‌شود:

ماوروماتیس و هانسن[3] (۲۰۰۱)، با مقایسه مدل‌های WM، WM2 و LARS-WG نشان دادند که مدل LARS-WG در سطح اطمینان قابل‌قبول‌تری (۹۵ درصد) اقدام به تولید داده‌های اقلیمی نموده است. همچنین چانگ و همکاران[4] (۲۰۰۲)، تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آبی در جنوب غربی بلغارستان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از یک مدل هیدرولوژیکی بر مبنای سنجش‌ازدور و دو مدل اقلیمی HadCM2 و CCC استفاده کردند. نتایج حاصل از هر دو مدل، حساسیت رواناب به تغییر اقلیم را نشان داد. همچنین حداکثر رواناب به اوایل بهار منتقل و کاهش زیادتری در رواناب تابستانه (به دلیل کاهش در بارندگی) رخ خواهد داد. رزنبرگ و همکاران[5] (۲۰۰۳)، به‌منظور شبیه‌سازی تأثیرات تغییر اقلیم پیش‌بینی شده با مدل HadCM2 بر هیدرولوژی ۱۸ منطقه مهم در آمریکا از مدل HUMUS و مدلSWAT استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن است که میزان آبدهی در دوره پایه به میزان ۱۱- تا ۱۵۳ درصد و در سال‌های آتی، ۲۸ تا ۳۴۲ تغییر خواهد داشت. آلیسون و همکاران[6] (۲۰۰۴)، تأثیر تغییر اقلیم را بر وضعیت تناوب سیلاب در انگلستان تحت خروجی‌های شبیه گردش عمومی HadRM3Hو سناریوی انتشار A2 مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند که به‌رغم کاهش میانگین سالانه

1 Climate Change
2 Down Scaling
3 Mavromatis and Hansen
4 Chang et al
5 Rosenberg et al
6 Alison et al

بارش در اکثر حوضه‌ها در بیشتر دوره‌های بازگشت، تناوب سیلاب‌ها افزایش یافته است. راماراج و همکاران[1] (۲۰۰۹)، نتایج شبیه‌سازیPRECIS را در مورد داده‌های بارش و دماهای بیشینه و کمینه در هندوستان مورد بررسی قرار دادند. این مدل، داده‌ها را بر اساس خروجی شبیه گردش عمومی جو HadCM3Q شبیه‌سازی می-کند. در پژوهش مزبور با محاسبه شاخص آماری RMSE مشخص گردید که این مدل‌ها، داده‌های دمای بیشینه را بهتر از دمای کمینه شبیه‌سازی کرده است. هارمسن و همکاران[2] (۲۰۰۹)، داده‌های بارش و دما در پورتریکو را به‌صورت آماری و با استفاده از مدل گردش عمومی DOE/NCR PCM تحت سه سناریوی B1، A2 و A1 ریزمقیاس نمودند و بر این باورند که فصل بارش مرطوب‌تر و فصل خشکی، خشک‌تر خواهد شد. آن‌ها همچنین نشان دادند که تبخیر و تعرق نیز در ماه‌های خشک با کاهش بارندگی و افزایش دما افزوده خواهد شد. بابائیان و همکاران (۱۳۸۸)، با ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی لارس و مدل گردش عمومی ECHO-G و سناریوی A1 نشان دادند که در این دوره، کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور به‌ویژه در مناطقی مانند کرمان، یزد، خراسان جنوبی و رضوی رخ خواهد داد. بابائیان و همکاران (۱۳۹۱)، اثر گرمایش جهانی بر متغیرهای بارش و دما و شاخص‌های اقلیمی کشاورزی را با استفاده از برونداد ریزگردانی شدهٔ دو مدل گردش عمومی NCAR-PCM و GFDL-CM2.1 تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 در سه ایستگاه هواشناسی مشهد، سبزوار و تربت‌حیدریه مورد بررسی قرار دادند و معتقدند در دوره‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰٦۹، طول دوره رشد در دو ایستگاه مشهد و سبزوار افزایش و در تربت‌حیدریه کاهش می‌یابد اما در هر سه ایستگاه، این شاخص در دوره ۲۰۹۹–۲۰۸۰ تا ۱۸/٦ روز افزایش خواهد یافت. ضرغامی و همکاران (۱۳۹۱)، در بررسی تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی به کمک شش مدل مختلف گردش عمومی جو در سه سناریوی انتشار گاز (B1 ،A2 ،A1B) نشان دادند که در سه دهه آتی، افزایش دمای استان تا ۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش میانگین سالانه تا ٦۰ میلی‌متر (در سناریوی A2 و مدلHadCM3) کاملاً مشهود است. صالح نیا و همکاران (۱۳۹۲)، به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از نمایه PDSI به کمک مدل‌های لارس و مدلHadCM3 برای نیشابور پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از این است که خشکسالی بسیار شدید در دههٔ اول پیش‌بینی از مجموع ۱۲۰ ماه تنها ۵ ماه را به خود تعلق داده است که نسبت به دو دههٔ دیگر، بیشترین مقدار را داراست. همچنین در دشت نیشابور میزان بارش، ۱۲ و۳۰ درصد افزایش در دو دهه اول و دوم و ۵ درصد کاهش در دهه سوم را به همراه خواهد داشت. حق طلب و همکاران (۱۳۹۲)، با مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی لارس و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی بر این باورند که با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی در هر دو استان، کویرزایی در آینده سرعت

1 Ramaraj et al
2 Harmsen et al

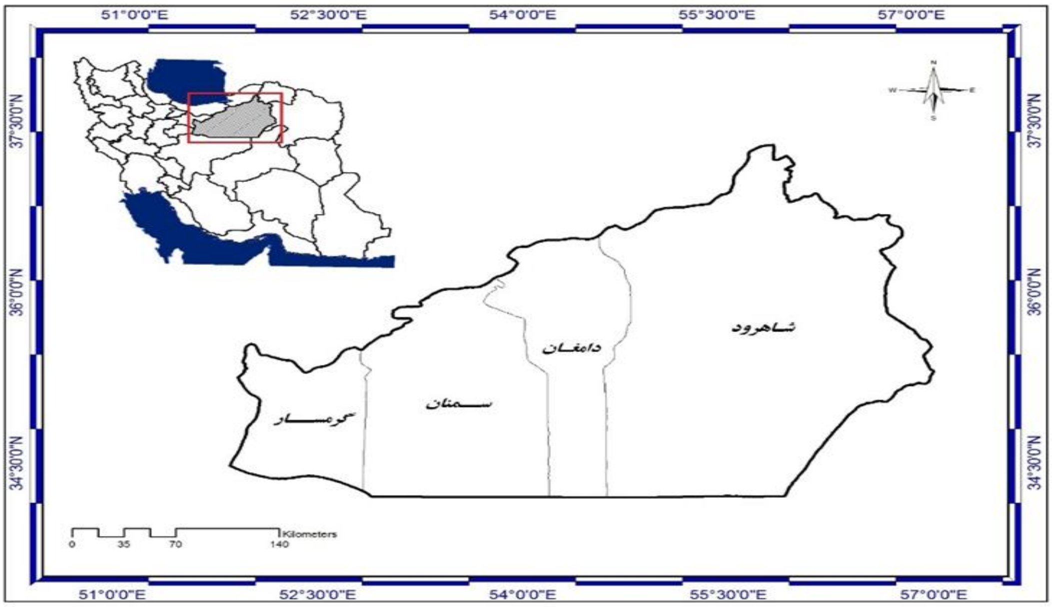
بیشتری خواهد یافت، که این نرخ رشد در دامنه جنوبی البرز مرکزی بسیار چشمگیرتر از دامنه شمالی آن است. همچنین احتمال افزایش بارندگی‌های سیل‌آسا و رگباری در هر دو دامنه وجود دارد که این احتمال با دوره برگشت کوتاه‌تر در تهران بیشتر است. شاه‌کویی و همکاران (١٣٩٢)، در پژوهشی برای ارزیابی تأثیر گرمایش جهانی برای دو بازه زمانی ٢٠٤٩-٢٠٣٥ و ٢٠٧٩-٢٠٦٥ بر روی مقادیر درجه- روز مورد نیاز گیاه سویا، از مدل گردش عمومی جوHadCM3 استفاده کردند و بر این باورند که بدبینانه‌ترین نتایج که معادل بیشترین افزایش مقدار دما می‌باشد، مربوط به سناریوی A2 به میزان افزایش دمایی معادل ٠/٦٤ درجه سانتی‌گراد برای دوره ٢٠٤٩-٢٠٣٥ و ٠/٦٠ درجه سانتی‌گراد برای دوره ٢٠٦٥ تا ٢٠٧٩ می‌باشد. روشن و همکاران (١٣٩٣)، با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات منحنی شدت و فراوانی بارش مؤثر در ایستگاه‌های شمال غرب ایران با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی‌شده ٢٠٢١ تا ٢٠٥٠ که به‌وسیله مدل گردش عمومی جوHadCM3 و سناریویA1 تولیدشده بود، نشان دادند که افزایش شدت آستانه‌های بارش مؤثر برای ایستگاه‌های اردبیل، کرمانشاه و تبریز در دهه‌های آینده نسبت به دوره پایه ١٩٦١ تا ١٩٩٠ و کاهش تعداد روزهای همراه با رخداد بارش برای کرمانشاه، سنندج و تبریز در دهه‌های آینده خواهد بود. خورانی و همکاران (١٣٩٣)، به بررسی آثار تغییر اقلیم بر میزان بازدید از جزایر هنگام پرداختند و برای مدل‌سازی تغییر اقلیم از سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 داده‌های مدل گردش عمومی جوHadCM3 که به کمک مدل لارس ریزمقیاس شدند نشان دادند که رابطه معکوسی بین دما و تعداد بازدیدکنندگان جزیره هنگام برقرار است. به‌طوری‌که با افزایش دما در فصول بهار و تابستان، از تعداد بازدیدها کاسته شده و با کاهش دما در فصول زمستان و پاییز، شمار بازدیدکنندگان افزایش می‌یابد. به‌طورکلی در زمینه بررسی تغییر فراسنج‌های اقلیمی با مدل لارس می‌توان به پژوهش‌های الشمی و همکاران (٢٠٠٥)؛ تالیس و میلک (٢٠٠٥)؛ آبابایی و همکاران (١٣٨٩)؛ بابائیان و همکاران (١٣٨٩)؛ عباسی و همکاران (١٣٨٩)؛ رجبی (١٣٨٩)؛ لشکری و همکاران (١٣٩٠)؛ روستایی و همکاران (١٣٩١)؛ اشرف و همکاران (١٣٩١)؛ علیزاده و همکاران (١٣٩٢)؛ کوهی و همکاران (١٣٩٢)؛ سبحانی و فاطمی‌نیا (١٣٩٣) اشاره نمود.

در این راستا، هدف اصلی پژوهش حاضر، مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با مدل گردشی عمومیHadCM3 و سه سناریویA1B,A2,B1 در دوره ٢٠١١ تا ٢٠٣٠ است که تحت مدل LARS-WG انجام پذیرفته است.

٢. موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان سمنان با مساحتی برابر ٩٧٤٩١ کیلومترمربع، ٦ درصد از کل مساحت کشور را به خود اختصاص داده است و از سمت شمال به استان‌های خراسان شمالی، گلستان و مازندران از جنوب به استان‌های یزد و

اصفهان، از مشرق به استان خراسان رضوی و از غرب به استان‌های تهران و قم محدود است. ایـن اسـتان در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ٣٤ دقیقه واقع شـده و ارتفـاع متوسـط آن از سطح دریا، ۱۱۳۰ متر است (شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت نسبی و ریاضی استان سمنان

۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش، جهت ارزیابی مدل لارس از داده‌های اقلیمـی ٤ ایسـتگاه همدیـد و اقلـیم‌شناسـی اسـتان سمنان از بدو تأسیس هر ایستگاه تا سال ۲۰۱۰ استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده شامل دمـای کمینـه، دمای بیشینه و بارش به‌صورت روزانه می‌باشند که از سازمان هواشناسی کشور برداشت شـده اسـت (جـدول ۱). پس از بررسی وضعیت آماری ایستگاه‌ها در طول دوره مورد بررسی، روزهایی که دارای نقـص یـا نبـود داده بودند، حذف شدند. چراکه بازسازی داده‌ها سبب می‌شود که بر نتایج خروجی مدل اثرگذار باشد.

جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع به متر
۱	بیارجمند	۵۵/۸۳	۳۶/۰۵	۱۱۰۶/۲
۲	شاهرود	۵۴/۹۵	۳۶/۴۱	۱۳۴۵/۳
۳	گرمسار	۵۲/۲۶	۳۵/۲	۸۲۵/۲
۴	سمنان	۵۳/۳۸	۳۵/۵۵	۱۱۷۱

پس از برداشت داده‌ها، از مدل لارس که یکی از معروف‌ترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است، برای تولید مقادیر بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه در هر یک از ایستگاه‌های استان سمنان هم در دوره پایه و هم دوره آینده استفاده شد. در این مدل، شبیه‌سازی بارش و احتمال وقوع آن، از روش توزیع نیمه تجربی و زنجیره مارکف و در مدل‌سازی تابش بر اساس توزیع نیمه تجربی و برای مدل‌سازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می‌شود که خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشند (سمنوف و بارو[1]، ۲۰۰۲؛ هارمل[2]، ۲۰۰۲). اولین نسخه مدل LARS-WG در بوداپست مجارستان طی سال ۱۹۹۰ به‌عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمایی آماری ابداع شد. برای تولید داده توسط مدل لارس ابتدا باید مشخصات هر ایستگاه شامل نام، موقعیت مکانی و ارتفاع از سطح دریا و همچنین فایل داده‌های هواشناسی روزانه در دوره مشاهداتی به‌عنوان ورودی به مدل وارد شود و سپس این مدل اجرا شود. حاصل آن یک فایل متنی خلاصه شده شامل خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی به‌صورت میانگین‌های ماهانه و فصلی برای کل دوره تحت بررسی می‌باشد. سپس مدل با توجه به روند موجود در سری زمانی داده‌های مشاهداتی اقدام به باز تولید داده‌های ایستگاه‌ها در همین دوره کرده و درنهایت با استفاده از آزمون‌های آماری و رسم نمودار، میانگین‌های ماهانه داده‌های شبیه‌سازی‌شده با داده‌های مشاهداتی مقایسه می‌شود تا توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در این ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. لذا در این پژوهش نیز با استفاده از مدل گردشی عمومیHADCM3 و سه سناریوی A1B,A2,B1 در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ توانایی مدل لارس برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی استان سمنان مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل HADCM3در سال ۲۰۰۰ در مرکز هدلی سازمان هواشناسی انگلیس اجرا شده است. این مدل یک مدل جفت شده جوی- اقیانوسی است. تفکیک جوی آن ۲/۵ در ۳/۵ درجه با ۱۹ لایه در راستای قائم جو، ٤ لایه در عمق خاک و گام زمانی آن، ۳۰ دقیقه می‌باشد. تفکیک اقیانوسی این مدل ۱/۲۵ در ۱/۲۵ است و گام زمانی مؤلفه اقیانوسی به‌صورت انتگرال‌گیری هر یک ساعت است (گردون و همکاران[3]،۱۹۹۵). همچنین جهت بررسی توانایی کلی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های مشاهداتی در دوره تحت بررسی، متوسط بایاس و خطای مطلق بین داده‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در دوره مورد بررسی محاسبه شده است (رابطه ۱ و ۲):

$$Bias = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)$$ رابطه ۱

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|S_i - O_i|$$ رابطه ۲

1 Harmel
2 Semenov and Barrow
3 Gordon et al

که در این رابطه‌ها، S_i و O_i به ترتیب نشان دهنده i اُمین مقادیر مدل‌شده و دیده‌بانی شده هستند کـه ایـن مقادیر شامل متغیرهای بارش، کمینه دما و بیشینه دما هستند و n، تعداد کل نمونه‌های مـورد ارزیـابی اسـت. پس از اطمینان از درستی نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهداتی، اقدام به اجرای شبیه‌سازی و بازتولید داده‌های اقلیمی دوره آینده (۲۰۳۰–۲۰۱۱) گردید.

لازم به یادآوری است که مکانیسم عمل مدل لارس به این صورت است که ابتدا بـا اسـتفاده از سـناریوی تولید داده ماهانه که در برگیرنده رفتار اقلیم پایه می‌باشد، تمامی داده‌های ماهانه پریشیده می‌شود (رابطـه ۳) و سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها را تغییر می‌کند (رابطه ٤).

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base})$$ رابطه ۳

$$STD_{fut} = \frac{STD_{fut}^{GCM}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{base}^{OBS}$$ رابطه ٤

در این رابطه‌ها؛ F_{fut}، F_{obs}، F_{GCM}^{fut} و F_{GCM}^{base} به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر پیش‌بینی شده در هر ایسـتگاه، مقادیر مشاهده شده در هر ایستگاه، مقادیر پیش‌بینی شده بر روی شبکه الگو در دوره آینده و مقـادیر الگـو شده بر روی شبکه الگو در دوره پایه (گذشته) می‌باشد. درنهایت در این پژوهش، داده‌های شبیه‌سازی شده و مشـاهداتی در دوره پـیش‌بینـی و دوره پایــه، در سیسـتم اطلاعـات جغرافیـایی (GIS) پهنـه‌بنـدی گردید.

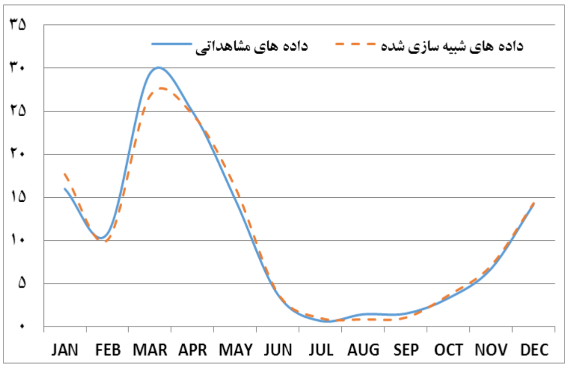
٤. نتایج و بحث

صحت سنجی و شبیه‌سازی بارش در ایستگاه بیارجمند

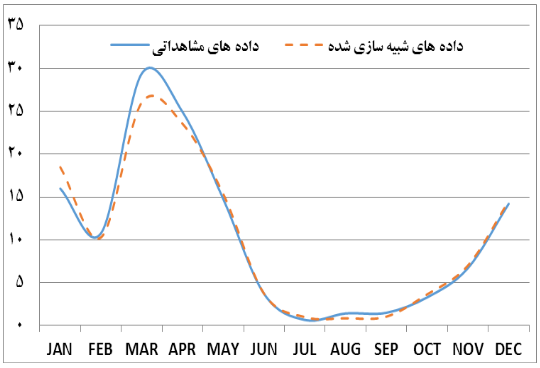
همان‌گونه که نمودارهای پیش‌بینی شده بارش در ایستگاه بیارجمنـد در دوره ۲۰۱۱ تـا۲۰۳۰ و دوره پایـه نشان می‌دهند در هر سه سـناریوی A1B,A2,B1 در مـدل گردشـی عمـومیHADCM3، اخـتلاف بسـیار ناچیزی بین این دو سری از داده وجود دارد. به دیگر سخن، داده‌های پایـه و داده‌هـای شـبیه‌سـازی شـده در اغلب ماه‌های سال با یکدیگر انطباق بالایی دارند. لیکن در ماه‌های فوریـه، مـارس، آوریـل و مـی کـه میـزان بارش افزایش می‌یابد، نمودار پیش‌بینی کمی پایین‌تر از نمودار بـارش مشـاهداتی قـرار دارد (شـکل ۲ تـا ٤). به‌طورکلی، بیشترین افزایش مقدار بارش در ماه مـارس (۲۹/۳ میلـی‌متـر) و بیشـترین کـاهش در مـاه ژولای (۰/٦٥ میلی‌متر) مشاهده شده است (جدول ۲). به‌طورکلی، به نظر می‌رسد که هر سه سناریوی مـورد بررسـی به‌خوبی توانسته است، داده‌های مشاهداتی بارش در ایستگاه بیارجمند را بازتولید نماید.

جدول ۲ صحت‌سنجی بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه بیارجمند

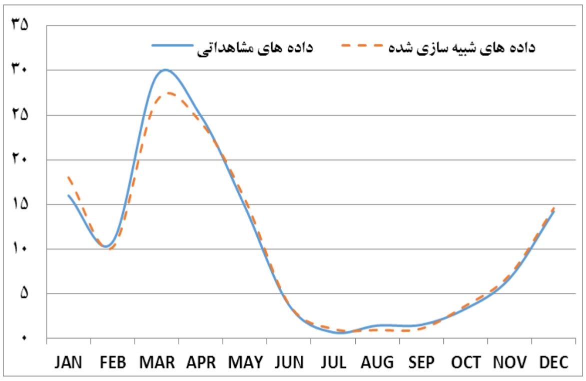
آماره های بارش	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
بارش مشاهداتی	۱۵/۹۸	۱۰/۷۸	۲۹/۴۱	۲۴/۹۱	۱۴/۷۳	۳/۶۹	۰/۶۵	۱/۴۱	۱/۴۹	۳/۲۹	۶/۷	۱۴/۲
بارش شبیه سازی شده	۱۴/۵۳	۱۱/۱۶	۲۲/۱۳	۲۳/۶۲	۲۱/۸۸	۳/۹۸	۰/۹۸	۲/۴۶	۰/۸۳	۴/۰۳	۶/۸۸	۱۸/۴۲
انحراف معیار مشاهده شده بارش	۱۱/۷۳۴	۷/۱۱۷	۱۹/۱۲۵	۲۶/۴۸۲	۱۹/۵۰۴	۴/۵۸۲	۱/۳۶۱	۳/۳۴۲	۲/۸۷۱	۴/۴۲۵	۶/۹۳۶	۱۰/۱۲۵
انحراف معیار شبیه سازی شده بارش	۱۳/۳۹۴	۸/۸۶۵	۱۸/۹۵۷	۲۲/۲۷۸	۲۵/۹۲۵	۵/۶۳۳	۱/۵۸۶	۴/۴۰۱	۲/۱۰۳	۷/۳۵۲	۷/۶۹۴	۱۴/۰۸۶



شکل ۲ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه بیارجمند در سناریوی B1



شکل ۳ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه بیارجمند در سناریوی A2



شکل ٤ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه بیارجمند در سناریوی A1B

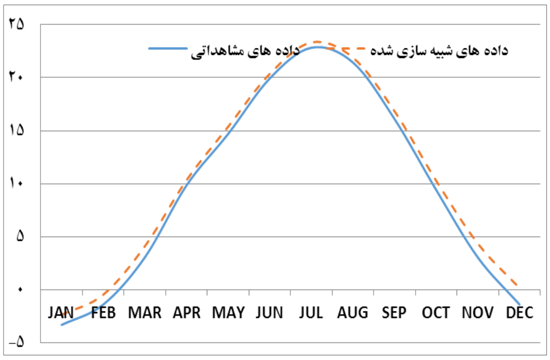
صحت سنجی و شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه بیارجمند

مدل‌سازی دمای کمینه در ایستگاه بیارجمند با سناریوهای A1B,A2,B1 تحت مدل لارس حاکی از این است که این سناریوها به‌خوبی توانسته است بر اساس داده‌های مشاهداتی دمای کمینه، داده‌های شبیه‌سازی را بازتولید نماید. نتایج هر دو سری داده نشان می‌دهند که پایین‌ترین دمای کمینه در سه سناریو، ۳- درجه سانتی‌گراد در ژانویه ثبت شده است. همچنین بالاترین دمای کمینه مربوط به ژولای با مقدار ۲۲ درجه سانتی‌گراد نمایش داده شده است (جدول ۳) در ماه‌های آوریل، مارس، فوریه، ژانویه و دسامبر کاهش دمای

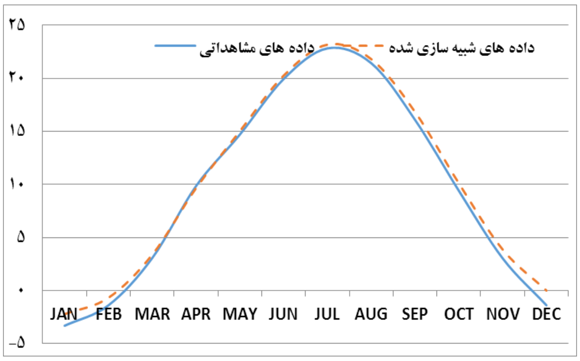
کمینه قابل مشاهده است و می‌توان گفت این انطباق بین دمای کمینه مشاهداتی و دمای کمینه پیش‌بینی شـده، کاملاً برقرار است (شکل ۵ تا ۷).

جدول ۳ صحت‌سنجی دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه بیارجمند

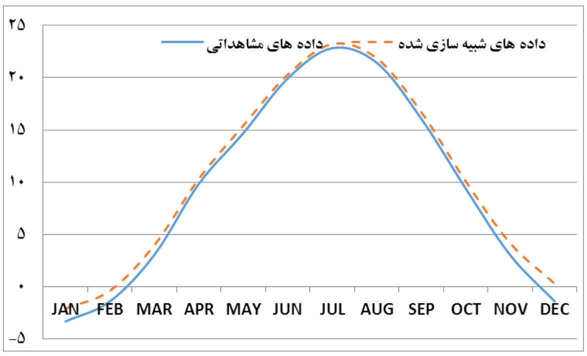
آماره های دمای کمینه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
دمای کمینه مشاهداتی	-۳/۳۲	-۱/۴	۳/۰۶	۹/۸۵	۱۴/۷	۱۹/۹۴	۲۲/۸۳	۲۱/۴۳	۱۶/۰۸	۹/۴	۳/۰۳	-۱/۴
دمای کمینه شبیه سازی شده	-۳/۳۴	-۱/۴۷	۳/۲۱	۹/۴۵	۱۴/۷۹	۱۹/۷۷	۲۲/۶۷	۲۱/۲۱	۱۶/۱۶	۹/۲۳	۳/۰۸	-۰/۷۹
انحراف معیار مشاهده شده دمای کمینه	۰/۸۱	۰/۹۶۵	۰/۷	۰/۶۹۸	۰/۵۲۷	۰/۵۱۱	۰/۳۵۳	۰/۳۴۷	۰/۵۶۴	۰/۶۷۷	۰/۹۹۳	۰/۵۳۹
انحراف معیار شبیه سازی شده دمای کمینه	۱/۹۳۷	۲/۰۳۶	۱/۷۲۱	۱/۱۳۹	۱/۴۸۷	۰/۹۰۷	۰/۸۷۸	۱	۱/۳۶۴	۲/۰۷۸	۱/۳۳۹	۱/۵۰۶



شکل ۵ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه بیارجمند در سناریوی B1



شکل ٦ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه بیارجمند در سناریوی A2



شکل ۷ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه بیارجمند در سناریوی A1B

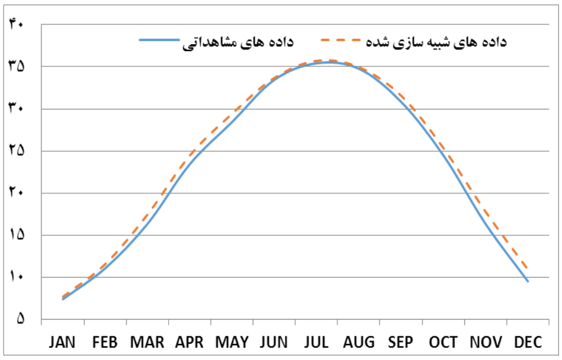
صحت سنجی و شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه بیارجمند

همان‌گونه که جدول ٤ و شکل ۸ تا ۱۰ نشان می‌دهند، بین دمـای بیشـینه مشـاهداتی و شـبیه‌سـازی‌شـده توسط سه سناریوی مورد بررسی همپوشانی نسبتاً کاملی برقرار است. ایـن شـرایط در اغلـب مـاه‌هـای سـال برقرار است ولی در سناریوی B1 و A1B نمودار پیش‌بینی دما بالاتر از نمـودار مشـاهداتی اسـت. بـه دیگـر

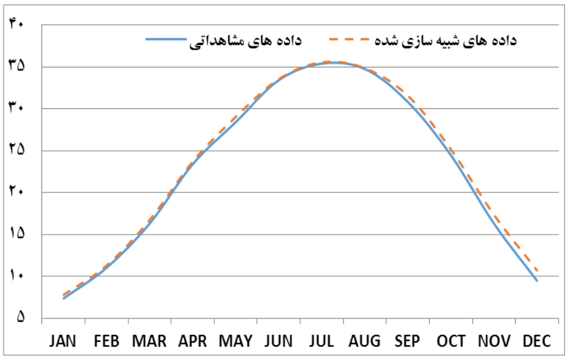
سخن، در این دو سناریو مقدار دمای بیشینه بیشتر از مقادیر دمای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی بیارجمند برآورد شده است. این در حالی است که بیشترین افزایش در ماه ژولای و کمترین مقدار در ماه ژانویه رخ داده است. همچنین در زمان‌هایی که دمای بیشینه افزایش می‌یابد، بارش کاهش چشمگیری می‌یابد.

جدول ٤ صحت‌سنجی دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه بیارجمند

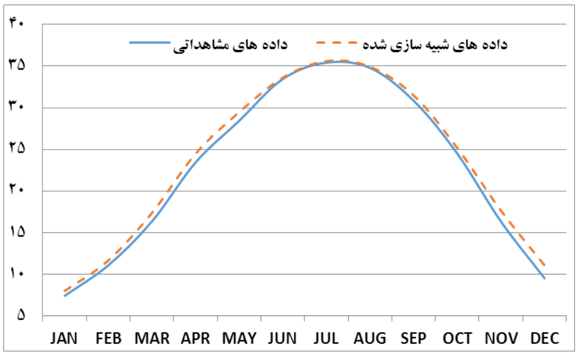
آماره های دمای بیشینه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
دمای بیشینه مشاهداتی	۷/۳۹	۱۱/۰۶	۱۶/۳۳	۲۳/۴۲	۲۸/۴۳	۳۳/۴۵	۳۵/۴۲	۳۴/۷۸	۳۰/۸۴	۲۴/۴۸	۱۶/۳۲	۹/۵
دمای بیشینه شبیه سازی شده	۶/۶۸	۱۰/۶۴	۱۶/۵۴	۲۳/۴۴	۲۸/۷۵	۳۲/۹۷	۳۵/۱۴	۳۴/۰۸	۳۰/۷۴	۲۴/۰۹	۱۶/۵۳	۹/۷
انحراف معیار مشاهده شده دمای بیشینه	۲/۲۳۲	۲/۱۹۹	۲/۹۴	۲/۰۰۱	۲/۲۱۱	۰/۸۱	۱/۲۳۸	۱/۲۶۴	۱/۴۶۹	۱/۹۲۱	۲/۰۴۶	۲/۱۳۹
انحراف معیار شبیه سازی شده دمای بیشینه	۰/۶۶۲	۰/۹۴۹	۰/۸۶۹	۰/۹۱۳	۰/۴۸۹	۰/۵۷۱	۰/۶۰۹	۰/۴۵۶	۰/۶۲۴	۰/۸۱۸	۰/۷۵۴	۰/۶۸۳



شکل ۸ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه بیارجمند در سناریوی B1



شکل ۹ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه بیارجمند در سناریوی A2



شکل ۱۰ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه بیارجمند در سناریوی A1B

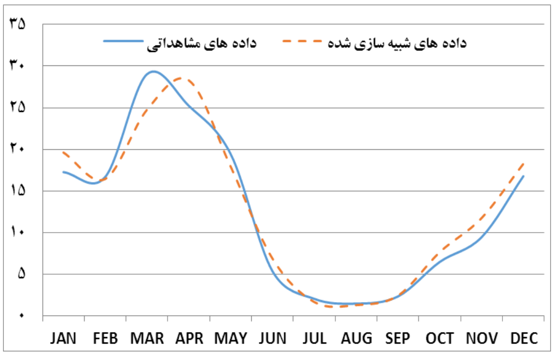
صحت سنجی و شبیه‌سازی بارش در ایستگاه شاهرود

نتایج حاصل از صحت سنجی و شبیه‌سازی بارش در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ در ایستگاه هواشناسی شاهرود نشان می‌دهد که در بیشتری مقدار بارش در مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در این ایستگاه به ترتیب با رقم ۲۹ و ٢٦ درجه در ماه مارس مشاهده می‌شود و کمترین مقدار آن نیز مربوط به ماه آگوست در حدود یک

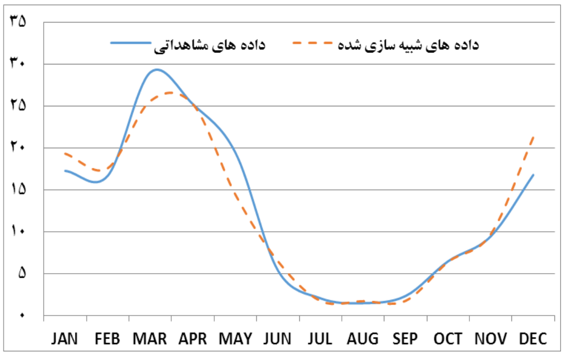
میلی‌متر می‌باشد (جدول ۵). همچنین نمودار روند ماهانه نشان می‌دهد که در سناریوی B1 و A1B به‌ویژه در سه ماهه زمستان و بهار، نمودار پیش‌بینی بارش رقم بالاتری نسبت به داده‌های مشاهداتی ایستگاه نمایش می‌دهد اما به‌طورکلی، در هر سه سناریو در مدل HadCM3، انطباق داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده بارش بالاست (شکل ۱۱ تا ۱۳).

جدول ۵ صحت‌سنجی بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه شاهرود

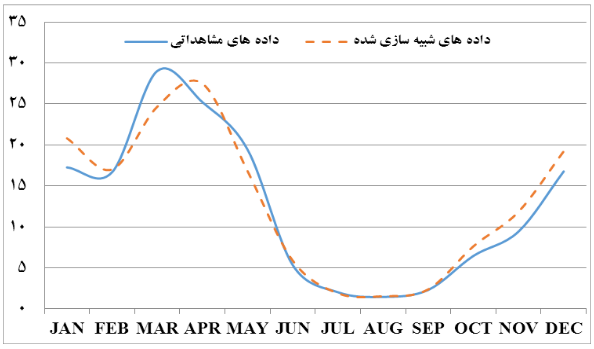
آماره های بارش	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
بارش مشاهداتی	۱۷/۲۶	۱۶/۶۸	۲۹/۰۳	۲۵/۲۲	۱۹/۴۳	۵/۳۴	۲/۰۳	۱/۴۵	۲/۳۱	۶/۴۶	۹/۴۳	۱۶/۷۷
بارش شبیه سازی شده	۱۴/۳۵	۱۵/۷۱	۲۶/۶۸	۲۵/۴۷	۱۹/۷۸	۵/۹۲	۲/۵۹	۱/۴۲	۲/۳۳	۷/۳۵	۷/۹۵	۱۶/۶۷
انحراف معیار مشاهده شده بارش	۱۴/۱۵۲	۱۷/۶۹۸	۱۸/۹۳۲	۲۰/۶۹۹	۱۹/۴۷۲	۷/۲۱۸	۳/۹۴۴	۳/۰۵۳	۳/۶۳۸	۸/۶۰۸	۹/۴۲۸	۱۵/۹۳۴
انحراف معیار شبیه سازی شده بارش	۱۲/۷۹۱	۱۱/۱۰۶	۲۲/۰۵۸	۲۰/۲۲۷	۱۳/۶۵۴	۸/۵۲۱	۴/۹۳۲	۳/۷۵۵	۳/۷۰۱	۷/۸۶	۷/۴۸۹	۱۲/۷۶



شکل ۱۱ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه شاهرود در سناریوی B1



شکل ۱۲ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه شاهرود در سناریوی A2



شکل ۱۳ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه شاهرود در سناریوی A1B

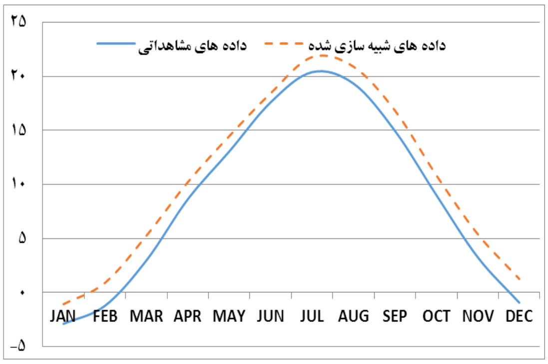
صحت سنجی و شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه شاهرود

در ماه ژولای دمای کمینه مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط سناریوهای مورد بررسی در بالاترین مقدار خود یعنی ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که این رقم در هر دو سری داده در ماه ژانویه به پایین‌ترین مقدار

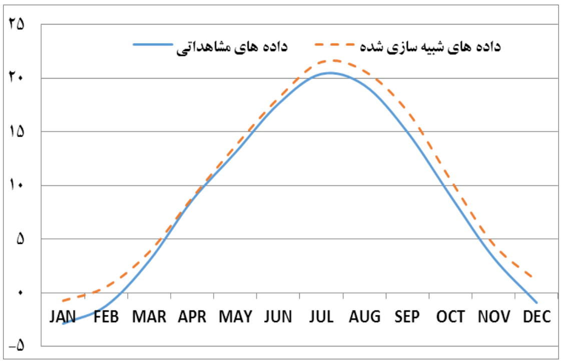
یعنی ۲- می‌رسد (جدول ٦). همچنین سناریوی A2 همانند ایستگاه بیارجمند از دقت بالاتری در شبیه‌سازی داده‌های دما برخوردار است چراکه نمودار دمای مشاهداتی و پیش‌بینی شده انطباق بیشتری با یکدیگر دارند. ولی در دو سناریوی B1 و A1B مقادیر پیش‌بینی شده در تمام ماه‌های سال، بیشتر از مقادیر ثبت شده دما در ایستگاه شاهرود برآورد شده است (شکل ١٤ تا ١٦).

جدول ٦ صحت‌سنجی دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه شاهرود

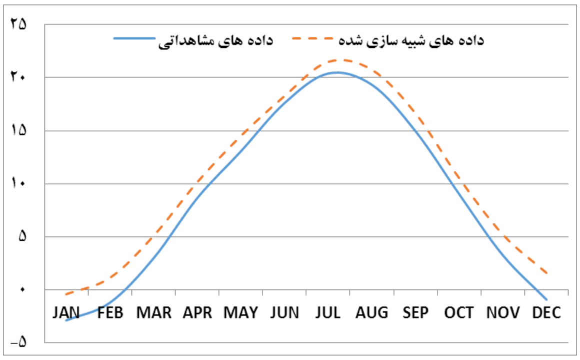
آماره های دمای کمینه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
دمای کمینه مشاهداتی	-۲/۸۹	-۱/۲۲	۲/۹۷	۸/۶۴	۱۳/۰۶	۱۷/۶۱	۲۰/۴	۱۹/۳۴	۱۴/۹۶	۹/۰۲	۳/۲۶	-۰/۹۳
دمای کمینه شبیه سازی شده	-۲/۷۵	-۱/۰۸	۳/۱۲	۸/۴۱	۱۳/۱۴	۱۷/۴۳	۲۰/۴۴	۱۹/۴	۱۵/۱۱	۸/۹۴	۳/۴۶	-۰/۵۴
انحراف معیار مشاهده شده دمای کمینه	۲/۰۸۴	۲/۱۰۴	۱/۸۷۸	۱/۶۶۸	۱/۵۹	۱/۵۷	۱/۵۱۱	۱/۶۶۳	۱/۷۷۲	۲/۰۴۸	۲/۰۳۴	۱/۶۳۲
انحراف معیار شبیه سازی شده دمای کمینه	۰/۵۲۸	۰/۶۱۵	۰/۶۱	۰/۶۸۹	۰/۶۵۲	۰/۶۰۷	۰/۴۹۹	۰/۵۳۸	۰/۵۲۶	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۷۴



شکل ١٤ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه شاهرود در سناریوی B1



شکل ١٥ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه شاهرود در سناریوی A2



شکل ١٦ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه شاهرود در سناریوی A1B

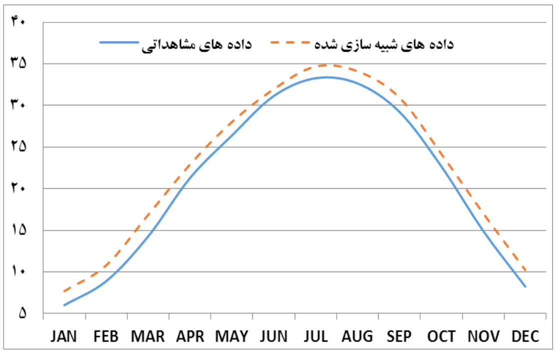
صحت سنجی و شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه شاهرود

نتایج حاصل از جدول ۷ و شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ حاکی از این است که پیش‌بینی داده‌های مشاهداتی دمای بیشینه در ایستگاه شاهرود از صحت سنجی بالایی برخوردار است و بیشترین مقدار دما در این ایستگاه در ماه

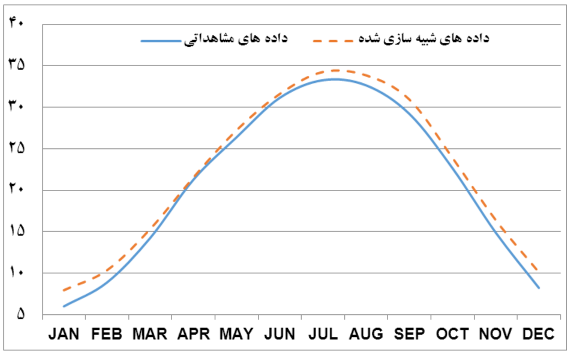
ژولای با رقم ۳۳ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان با ٦ درجه سانتی‌گراد در ژانویه ثبت شده است. همچنین در هر سه سناریوی B1، A1B و A2 مقادیر شبیه‌سازی‌شده بیشتر از مقادیر مشاهده شده برآورد شده است اما همچنان ماه ژولای دارای بیشترین میزان دمای بیشینه در این ایستگاه می‌باشد.

جدول۷ صحت‌سنجی دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه شاهرود

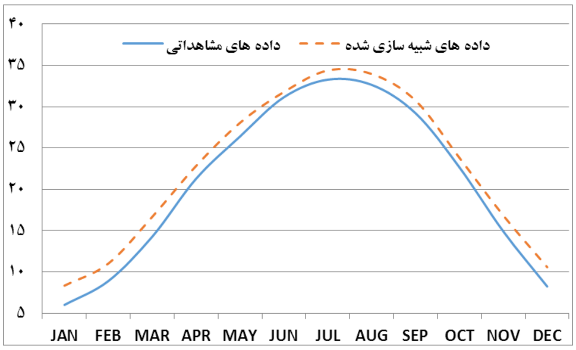
آماره های دمای بیشینه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
دمای بیشینه مشاهداتی	۶/۰۱	۸/۹	۱۴/۲۷	۲۱/۲۹	۲۶/۴	۳۱/۱۵	۳۳/۲۸	۳۲/۶۵	۲۹/۲۲	۲۲/۶۶	۱۴/۹۱	۸/۲۴
دمای بیشینه شبیه سازی شده	۶/۱۷	۸/۵۳	۱۴/۴۸	۲۱/۲	۲۶/۶۳	۳۰/۸۵	۳۳/۰۴	۳۲/۶۶	۲۹/۲	۲۲/۲۹	۱۵/۰۴	۸/۲۵
انحراف معیار مشاهده شده دمای بیشینه	۲/۶۴۶	۲/۸۷۱	۲/۵۶۱	۱/۹۲۴	۱/۹۶۷	۱/۲۴۵	۱/۲۱۱	۱/۳۵۱	۱/۳۰۸	۱/۸۲۱	۱/۸۷۱	۲/۲۱۹
انحراف معیار شبیه سازی شده دمای بیشینه	۰/۶۱۷	۰/۸۲۳	۰/۸۳۳	۰/۸۷۸	۰/۶۰۵	۰/۶۵۶	۰/۵۹۶	۰/۶۰۱	۰/۷۲۹	۰/۵۹۹	۰/۷۱۱	۰/۷۴۳



شکل ۱۷ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه شاهرود در سناریوی B1



شکل ۱۸ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه شاهرود در سناریوی A2



شکل ۱۹ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه شاهرود در سناریوی A1B

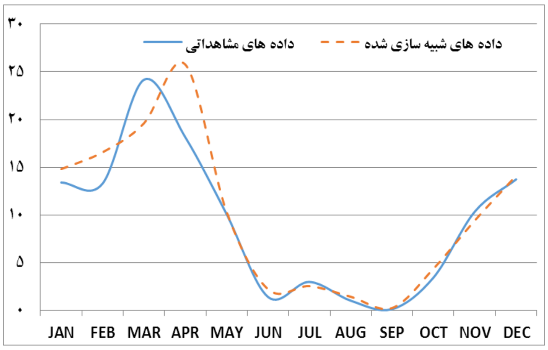
صحت سنجی و شبیه‌سازی بارش در ایستگاه گرمسار

همان‌گونه که جدول ۸ نشان می‌دهد اختلاف اندکی بین بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه هواشناسی گرمسار وجود دارد و این امر نشان می‌دهد که از همپوشانی بالایی میان این دو سری داده برقرار است. بیشترین میزان بارش در هر دو گروه از داده در ماه مارس با رقم ٢٤ میلی‌متر مشاهده می‌شود. همچنین

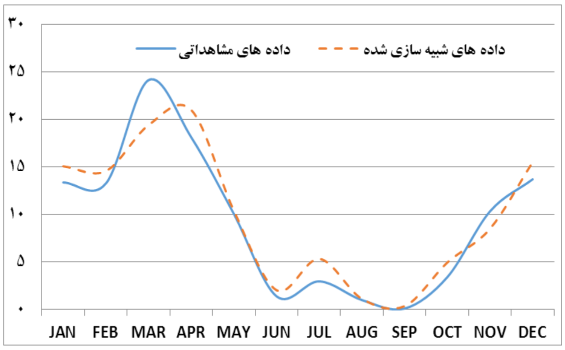
در هر سه سناریوی مورد بررسی، در فصل گذر از زمستان به بهار مقادیر شبیه‌سازی‌شده بالاتر از مقادیر مشاهده شده بارش قرار دارند لیکن سناریوهای B1 و A1B به‌ویژه در فصل تابستان و پاییز قادرند مقادیر مشاهده شده را با دقت بالاتری برآورد نمایند (شکل ۲۰ تا ۲۲)

جدول ۸ صحت‌سنجی بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه گرمسار

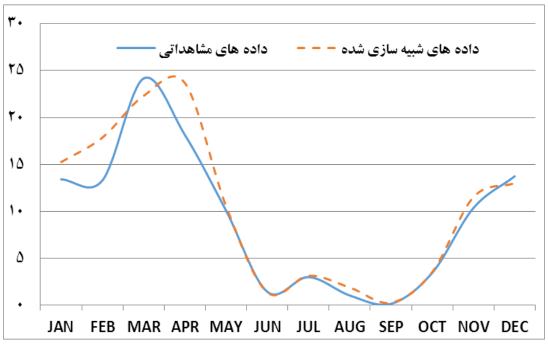
آماره های بارش	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
بارش مشاهداتی	۱۳/۴	۱۳/۲۹	۲۴/۱۷	۱۸/۱۴	۱۰/۰۶	۱/۴	۲/۹۸	۱/۰۱	۰/۱۲	۳/۴۳	۱۰/۳۵	۱۳/۷۳
بارش شبیه سازی شده	۱۲/۸۲	۱۳/۴۵	۲۴/۶۵	۳۲/۲۶	۱۴/۷۸	۱/۸۴	۰/۸۱	۱/۱۹	۰/۱۴	۴/۶۵	۸/۱۸	۱۲/۰۳
انحراف معیار مشاهده شده بارش	۱۱/۹۲۵	۱۰/۲۲	۱۹/۵۴۱	۲۵/۵۳	۱۴/۷۷۲	۲/۹۸	۱/۶۹۷	۲/۲۵۶	۰/۴۵۷	۶/۷۱۶	۹/۳۰۶	۱۱/۲۶۲
انحراف معیار شبیه سازی شده بارش	۱۰/۲۸۴	۱۳/۱۶۸	۲۱/۰۹۴	۲۲/۴۱۶	۹/۷۲۵	۳/۰۲۱	۶/۸۴۳	۲/۳۰۹	۰/۴۲۱	۷/۶۷۷	۱۳/۲۷۴	۱۰/۷۲۴



شکل ۲۰ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه گرمسار در سناریوی B1



شکل ۲۱ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه گرمسار در سناریوی A2



شکل ۲۲ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه گرمسار در سناریوی A1B

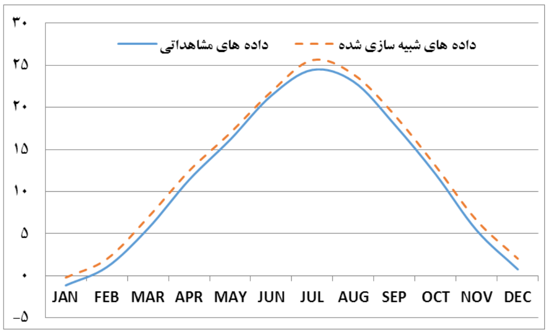
صحت سنجی و شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه گرمسار

مدل‌سازی دمای کمینه در ایستگاه گرمسار با استفاده از سناریوهای مورد بررسی در مدل HadCM3 نشان می‌دهد که مانند دیگر ایستگاه‌های هواشناسی استان سمنان، بیشترین دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ماه ژولای برابر ۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این در حالی است که صحت سنجی میان

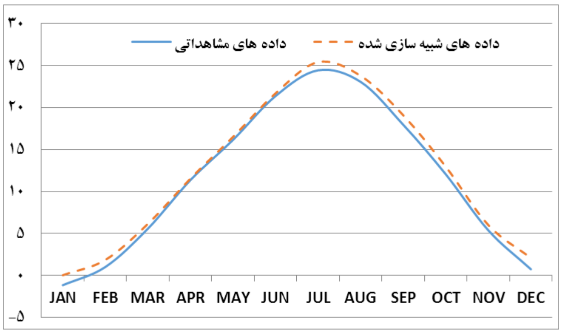
این دو سری از داده بسیار بالاست (جدول ۹). از سویی دیگر نمودار روند داده‌ها نشان می‌دهد که باز هم در سناریوی B1 و A1B، مقادیر پیش‌بینی شده دمای کمینه اندکی بالاتر از مقادیر مشاهده شده دما در این ایستگاه است و سناریوی A2 با دقت بیشتری توانسته است داده‌های کمینه مشاهداتی را به‌ویژه در زمستان و بهار شبیه‌سازی نماید (شکل ۲۳ تا ۲۵).

جدول ۹ صحت‌سنجی دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه گرمسار

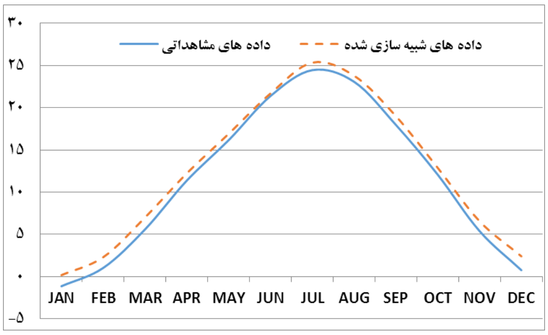
آماره های دمای کمینه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
دمای کمینه مشاهداتی	-۱/۱۵	۱/۰۲	۵/۵۹	۱۱/۳۸	۱۶/۱۶	۲۱/۳۹	۲۴/۴۵	۲۳/۰۷	۱۷/۹۶	۱۲/۰۶	۵/۳۸	۰/۷۵
دمای کمینه شبیه سازی شده	-۱/۲۳	۰/۷۶	۵/۶۵	۱۱/۳۶	۱۶/۱۶	۲۱/۰۳	۲۴/۵۷	۲۲/۸۹	۱۸/۱	۱۱/۷۳	۵/۴۷	۱/۰۶
انحراف معیار مشاهده شده دمای کمینه	۱/۶۸۲	۱/۸۹۴	۱/۷۱۸	۱/۳۵۲	۱/۴۸۵	۱/۳۳۶	۱/۳۰۵	۱/۱۳۷	۱/۷۸۸	۱/۷۵۳	۱/۱۳۹	۱/۲۵
انحراف معیار شبیه سازی شده دمای کمینه	۰/۶۲۷	۰/۷۱	۰/۷۰۵	۰/۶۳۳	۰/۴۸۳	۰/۴۷۲	۰/۴۵۸	۰/۳۷۸	۰/۴۶۱	۰/۵۷۸	۰/۶۴۳	۰/۶۵۳



شکل ۲۳ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه گرمسار در سناریوی B1



شکل ۲۴ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه گرمسار در سناریوی A2



شکل ۲۵ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه گرمسار در سناریوی A1B

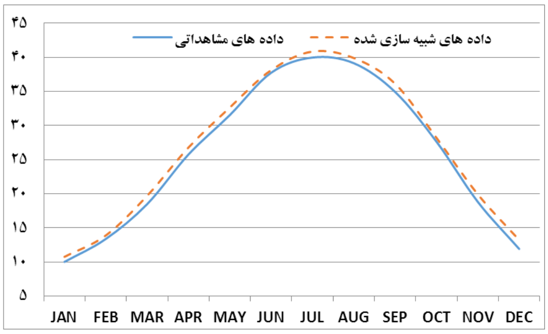
صحت سنجی و شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه گرمسار

نتایج حاصل از صحت سنجی داده‌های دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه گرمسار نشان می‌دهد که سناریوهای مورد بررسی به‌خوبی توانسته‌اند داده‌های بازتولید دمای بیشینه را برآورد نمایند و ژولای دارای بالاترین دمای بیشینه و ژانویه دارای کمترین دما در این ایستگاه می‌باشد (جدول ۱۰). همچنین

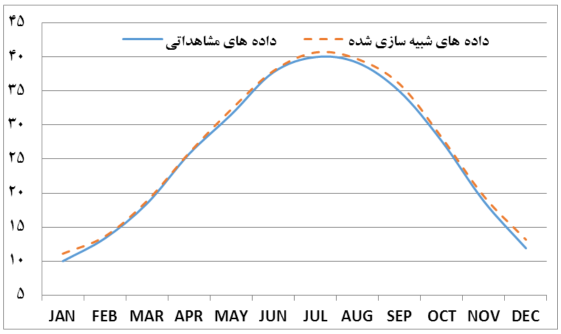
نمودارهای شبیه‌سازی دما در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ نشان می‌دهند که اگرچه مقادیر پیش‌بینی شده دمای بیشینه باز هم اندکی بیشتر از داده‌های ثبت شده ایستگاه هستند اما نسبت به دیگر ایستگاه‌های استان، در ایستگاه گرمسار هر سه سناریو، بهترین سناریوهای مدل HadCM3 برای شبیه‌سازی این متغیر اقلیمی هستند (شکل ٢٦ تا ٢٨).

جدول ۱۰ صحت‌سنجی دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه گرمسار

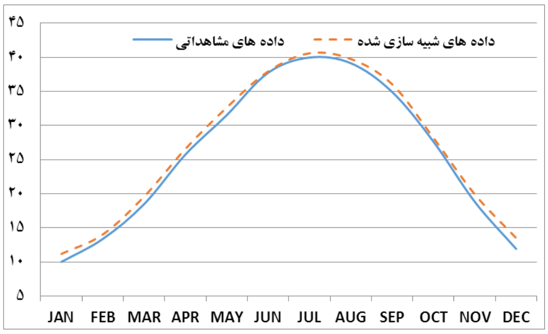
آماره های دمای بیشینه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
دمای بیشینه مشاهداتی	۱۰	۱۳/۳۶	۱۸/۴۷	۲۵/۷۵	۳۱/۵۳	۳۷/۷۴	۳۹/۹۷	۳۹/۱۴	۳۴/۹۲	۲۷/۶۳	۱۸/۸	۱۱/۹
دمای بیشینه شبیه سازی شده	۹/۸۴	۱۲/۵۱	۱۸/۲	۲۵/۳۳	۳۱/۶۸	۳۷/۳۸	۳۹/۸۱	۳۸/۹	۳۵/۱۸	۲۷/۱۳	۱۸/۹۱	۱۲/۵۵
انحراف معیار مشاهده شده دمای بیشینه	۲/۵۴۵	۲/۱۲۹	۲/۸۵۹	۱/۸۲	۱/۹۱	۱/۱۰۵	۱/۱۲۲	۱/۱۸۷	۱/۳۶۵	۲/۱۲۱	۱/۸۶۲	۱/۸۶۴
انحراف معیار شبیه سازی شده دمای بیشینه	۰/۷۶۳	۰/۸۴۱	۰/۹۰۴	۰/۹۲۳	۰/۷۶۵	۰/۵۵۹	۰/۵۰۴	۰/۴۲۵	۰/۵۷	۰/۷۲۹	۰/۶۷۵	۰/۶۱۸



شکل ٢٦ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه گرمسار در سناریوی B1



شکل ۲۷ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه گرمسار در سناریوی A2



شکل ۲۸ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه گرمسار در سناریوی A1B

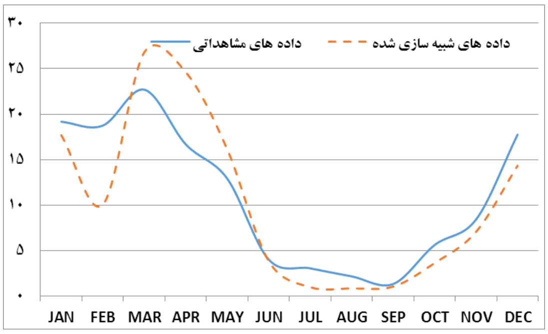
صحت سنجی و شبیه‌سازی بارش در ایستگاه سمنان

همان‌گونه که جدول ۱۱ نشان می‌دهد بین داده‌های بازتولید شده بارش در ایستگاه سمنان و داده‌های مشاهده شده در این ایستگاه همخوانی و ارتباط نزدیکی برقرار است. به دیگر سخن، توانایی سناریوهای مورد بررسی در مدل لارس برای برآورد داده‌های مشاهداتی بسیار بالاست. بیشترین و کمترین میزان بارش

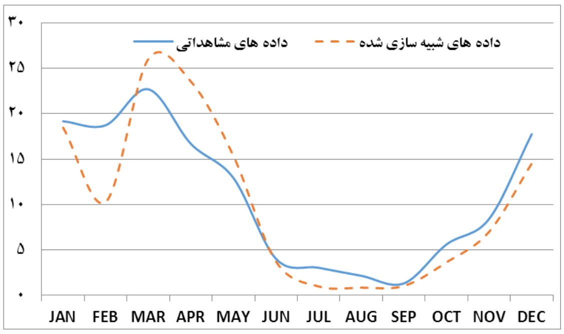
در هر دو سری داده به ترتیب مربوط به مارس و سپتامبر است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که هرچند شبیه‌سازی بارش از دقت بالایی برخوردار است اما در ایستگاه سمنان نسبت به دیگر ایستگاه‌های استان، این شبیه‌سازی از دقت کمتری برخوردار است. البته پریشانی نمودارهای روند، بیشتر در سه ماهه زمستان و بهار خودنمایی می‌کند و در دیگر فصول این نمودار، از وضعیت نرمال‌تری برخوردار است (اشکال ۲۹ تا ۳۱).

جدول ۱۱ صحت‌سنجی بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه سمنان

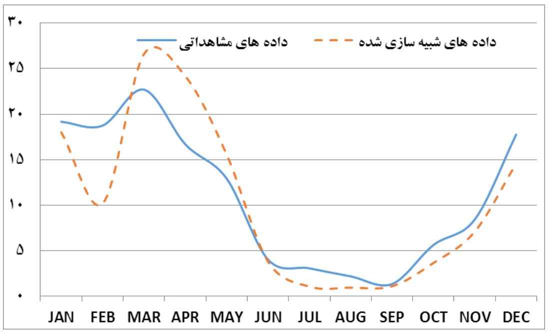
آماره های بارش	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
بارش مشاهداتی	۱۹/۱۷	۱۸/۷۴	۲۲/۷	۱۶/۶۸	۱۲/۹۱	۴/۰۱	۳/۰۴	۲/۱۶	۱/۳۲	۵/۶۱	۸/۴۲	۱۷/۷۵
بارش شبیه سازی شده	۱۹/۵	۱۸/۹۷	۱۸/۱	۱۸/۲	۱۰/۷	۵/۱۲	۴/۵۴	۱/۷۵	۱/۸۷	۴/۵۷	۱۳/۳۸	۲۱/۸۴
انحراف معیار مشاهده شده بارش	۱۵/۰۱۳	۱۳/۶۱۴	۱۵/۱۷۳	۱۵/۲۳۲	۹/۸۵۴	۷/۳۴۴	۷/۵۵۷	۵/۰۰۱	۳/۱۷۷	۴/۹۸۴	۱۱/۰۶۲	۲۲/۶۲۴
انحراف معیار شبیه سازی شده بارش	۱۷/۹۶۷	۱۵/۳۸۶	۱۹/۸۶۳	۱۶/۴۸۶	۱۴/۹۰۳	۷/۶۷۱	۷/۵۷۸	۶/۰۶۷	۲/۴۳۸	۷/۳۱۶	۹/۷۴۲	۱۶/۰۶۱



شکل ۲۹ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه سمنان در سناریوی B1



شکل ۳۰ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه سمنان در سناریوی A2



شکل ۳۱ شبیه‌سازی بارش در ایستگاه سمنان در سناریوی A1B

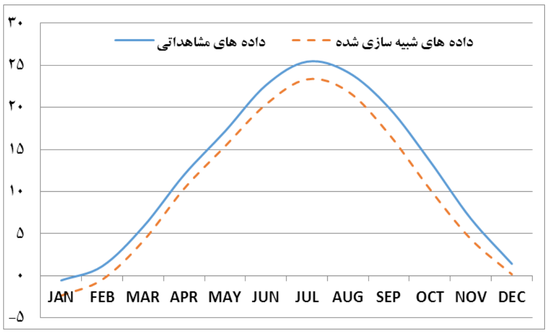
صحت سنجی و شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه سمنان

کمترین و بیشترین دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه سمنان به ترتیب مربوط بـه ژانویـه (۰/۵– درجه سانتی‌گراد) و ژولای (۲۵ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد (جدول ۱۲). همچنین نتایج حاصل از ترسیم نمودارهای دمای ثبت شده در ایستگاه و پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ حاکی از این است که

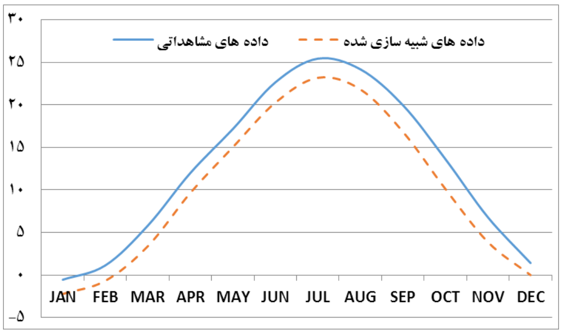
بر خلاف دیگر ایستگاه‌های مورد بررسی در استان سمنان که نمودار شبیه‌سازی‌شده متغیرهای اقلیمی در هر سناریو تقریباً متفاوت بود اما در ایستگاه سمنان در هر سه سناریوی B1، A2 و A1B، نمودار پیش‌بینی پایین‌تر از نمودار مشاهداتی دماست. به‌عبارتی‌دیگر، در تمام سناریوهای مدل HadCM3 داده‌های دمای کمینه پیش‌بینی شده در این ایستگاه اندکی کمتر از داده‌های مشاهداتی همین متغیر اقلیمی برآورد شده‌اند (شکل ۳۲ تا ۳٤).

جدول ۱۲ صحت‌سنجی دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه سمنان

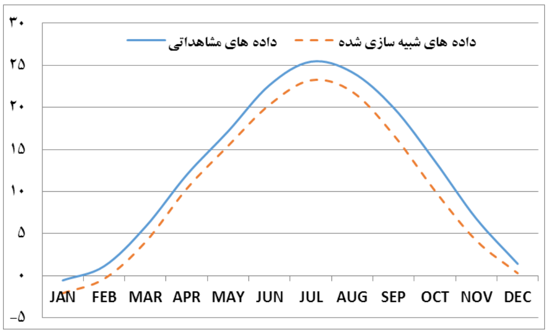
آماره های دمای کمینه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
دمای کمینه مشاهداتی	-۰/۵۶	۱/۱۲	۵/۸	۱۱/۹۹	۱۷/۱۶	۲۲/۶۵	۲۵/۴۳	۲۴/۱۷	۱۹/۹۶	۱۳/۶۱	۶/۷۷	۱/۴۱
دمای کمینه شبیه سازی شده	-۰/۳۱	۱/۲۶	۶/۱	۱۱/۹۷	۱۷/۳۵	۲۲/۵	۲۵/۳۲	۲۴/۰۵	۲۰/۰۴	۱۳/۵۵	۶/۹۴	۱/۶۸
انحراف معیار مشاهده شده دمای کمینه	۱/۹۶	۱/۷۵۴	۱/۷۷۵	۱/۵۶۹	۱/۶۵۹	۱/۳۸۹	۱/۵۱۱	۱/۷۳۱	۱/۴۳۱	۱/۴۹۷	۱/۵۸۹	۱/۵۵۲
انحراف معیار شبیه سازی شده دمای کمینه	۰/۵۶۱	۰/۶۰۴	۰/۵۹۶	۰/۶۵۶	۰/۶۰۹	۰/۴۹	۰/۵۱۸	۰/۴۴۳	۰/۵۱۴	۰/۵۶۴	۰/۵۱۵	۰/۶۳۴



شکل ۳۲ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه سمنان در سناریوی B1



شکل ۳۳ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه سمنان در سناریوی A2



شکل ۳٤ شبیه‌سازی دمای کمینه در ایستگاه سمنان در سناریوی A1B

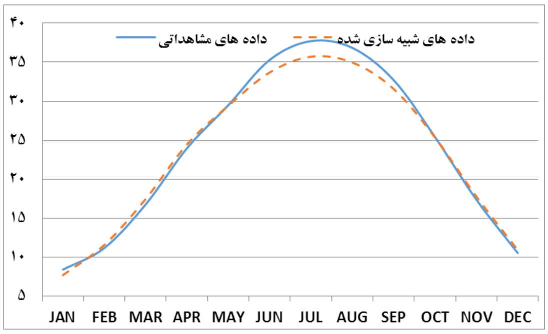
صحت سنجی و شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه سمنان

صحت سنجی دمای بیشینه ایستگاه سمنان در دوره شبیه‌سازی (دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰) و دوره پایه (بدو تأسیس ایستگاه تا سال ۲۰۱۰) نشان داد که انطباق و همپوشانی میان داده‌های این دو دوره بسیار بالاست و

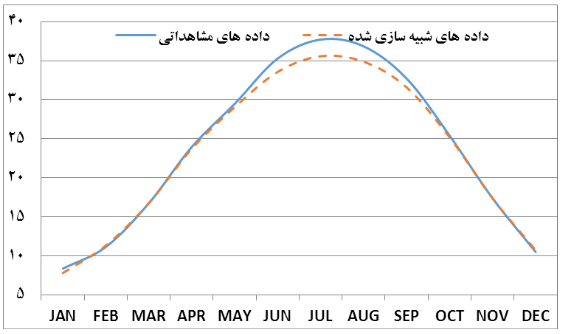
همچنان بیشترین میزان دمای بیشینه مربوط به ژولای با ۳۷ درجه و کمترین مقدار آن را نیز ژانویه با مقدار ۸ درجه سانتی‌گراد به خود اختصاص داده است (جدول ۱۳). همچنین نتایج حاصل از نمودارهای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده حاکی از این است که در هر سه سناریو در مدل لارس، نمودار شبیه‌سازی‌شده به‌خوبی توانسته است داده‌های مشاهده شده دمای بیشینه در این ایستگاه را برآورد نماید اما در فصول گرم سال مقادیر شبیه‌سازی اندکی پایین‌تر از مقادیر واقعی در این ایستگاه می‌باشد (شکل ۳۵ تا ۳۷).

جدول ۱۳ صحت‌سنجی دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه سمنان

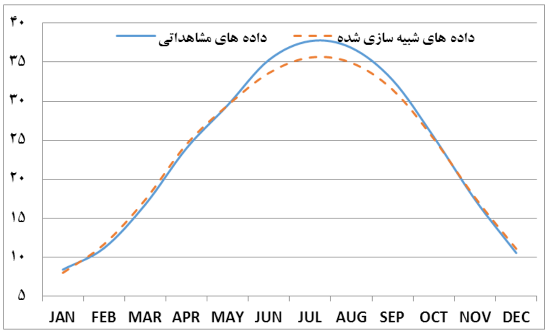
آماره های دمای بیشینه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
دمای بیشینه مشاهداتی	۸/۳۸	۱۱/۱۵	۱۶/۷۴	۲۳/۹۶	۲۹/۴۹	۳۵/۲۹	۳۷/۷۱	۳۶/۸۴	۳۲/۷۱	۲۵/۴	۱۷/۳۷	۱۰/۵۲
دمای بیشینه شبیه سازی شده	۸/۵۱	۱۰/۸۷	۱۷/۲۹	۲۳/۹۲	۲۹/۸۳	۳۵/۰۷	۳۷/۵۳	۳۶/۷۳	۳۲/۷۶	۲۵/۳۶	۱۷/۴۴	۱۰/۷۳
انحراف معیار مشاهده شده دمای بیشینه	۲/۷۵۳	۲/۵۴	۲/۷۳۲	۱/۸۶۸	۱/۹۱۸	۱/۱۸۸	۱/۱۵۷	۱/۳۱۳	۱/۲۵۴	۱/۹۶۲	۱/۹۵۱	۲/۳۴۴
انحراف معیار شبیه سازی شده دمای بیشینه	۰/۷۳	۰/۸۹۷	۰/۷۹۲	۰/۶۷۸	۰/۵۷۱	۰/۵۵۷	۰/۵۳۳	۰/۴۲۲	۰/۶	۰/۵۸۳	۰/۶۱۷	۰/۷۲۸



شکل ۳۵ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه سمنان در سناریوی B1



شکل ۳۶ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه سمنان در سناریوی A2

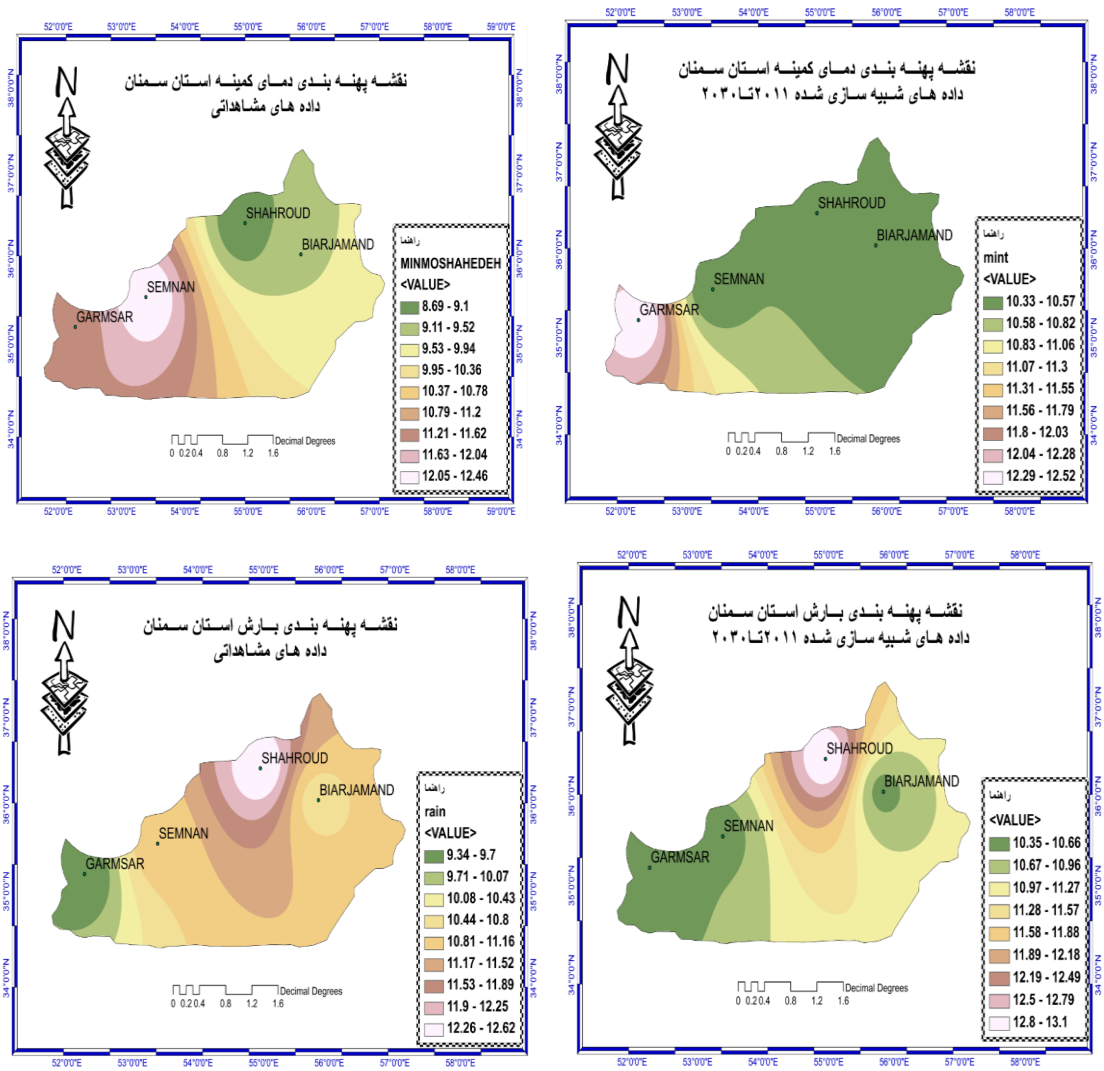


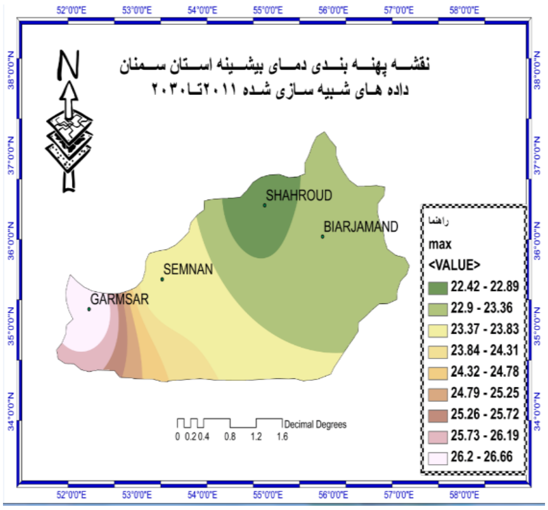
شکل ۳۷ شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه سمنان در سناریوی A1B

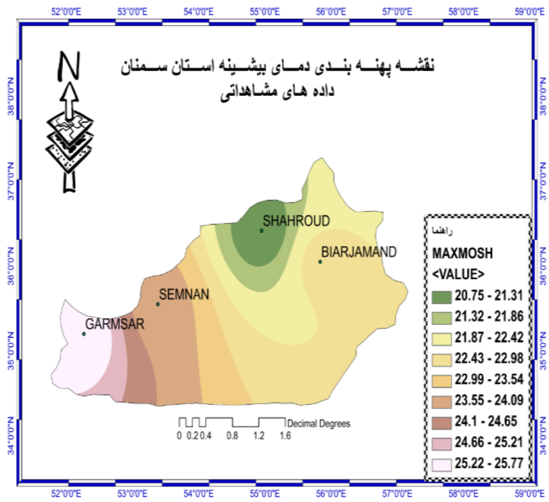
پهنه‌بندی متغیرهای اقلیمی در استان سمنان

درنهایت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های همدید استان سمنان بر اساس روش میانیابی IDW صورت گرفت تا تغییرات بارش، دمای کمینه

و بیشینه در هر دو دوره پایه و دوره آتی به‌صورت واضح‌تر نمایش داده شود. به‌طوری‌که در ایـن شـکل‌هـا مشاهده می‌شود (شکل ۳۸)، پهنه‌بندی بارش استـان سـمنان در هـر دو دوره مطالعـاتی از همپوشـانی بـالایی برخوردار است. به‌طوری‌که در هر دو دوره، مناطقی از شرق، مرکز و به‌ویژه شمال استان دارای کمترین میزان بارش هستند و خواهند بود اما در دوره شبیه‌سازی‌شده (۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰)، بارش در مناطقی از شـرق و غـرب استان روند افزایشی خواهند داشت. همچنین دمای کمینه و بیشینه در سمت شرق، مرکز و شمال ایـن اسـتان افزایش چشمگیری یافته است و البته این وضعیت در آینده گسترش بیشتری خواهد داشت. لـذا رخـداد ایـن شرایط، لزوم توجه مسئولین و برنامه ریزان امر جهت مدیریت و اتخاذ استراتژی‌هـای لازم در بهـره‌وری بهینـه منابع آب و مبارزه با کویرزایی را می‌طلبد.







۵. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، توانمندی سناریوهای به‌کاررفته در مـدل گردشـی عمـومی HadCM3 تحـت برنامـه لارس جهت بازتولید داده‌های روزانه متغیرهای اقلیمی و مهم استان سمنان مورد ارزیابی قـرار گرفـت. نتـایج نشان داد که به‌طورکلی این مدل، توانمندی شایسته‌ای با قابلیت بالا در شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهـای هواشناسی در این استان را دارا می‌باشد. به‌طوری‌که فراسنج‌های بارش، دمای کمینه و دمـای بیشـینه بـا دقـت بالایی در سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل‌سازی شدند. نشان حاکی از این است که به‌طورکلی در این سه سناریو، انطباق و همپوشانی نسبتاً بالایی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شـده وجـود دارد اما سناریوی A1B در اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی، قابلیت اعتماد بیشتری در شبیه‌سازی داده‌ها به‌ویژه در سه ماهه زمستان و بهار دارد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میـزان بـارش مشـاهداتی و شـبیه‌سـازی‌شـده توسط سناریوهای مدل HadCM3 در تمام ایستگاه‌های استان سمنان مربوط به ماه مـارس اسـت و کمتـرین میزان بارش را در بیارجمند و شاهرود به ترتیب ماه‌های ژولای و آگوست و در گرمسار و سمنان ماه سـپتامبر به خود اختصاص داده است. در تمام ایستگاه‌ها ماه ژانویه، کمترین و ماه ژولای بیشترین دمای کمینه را از آن خود نموده‌اند و کمترین دمای بیشینه در همه ایستگاه‌های هواشناسی استان سـمنان مربـوط بـه مـاه ژانویـه و بیشترین مقدار این متغیر اقلیمـی اختصـاص بـه مـاه ژولای دارد. همچنـین نقشـه‌هـای پهنه‌بنـدی داده‌هـای مشاهداتی و مدل‌سازی شده متغیرهای بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه در این استان حاکی از این است کـه کاهش میزان بارش در سمت شرق، مرکز و شمال استان قابل پیش‌بینی است و دمای کمینـه و بیشـینه نیـز در سمت شرق و شمال این استان، افزایش قابل توجهی خواهد یافت. لـیکن کـاهش بـارش و افـزایش دماهـای

کمینه و بیشینه در تمام بخش‌های استان سمنان یکسان نخواهد بود. به‌طورکلی چنین به نظر می‌رسد که روند رو به رشد دما و در مقابل آن کاهش میزان بارش، نیازمند توجه دقیق‌تر ساکنین و مدیران این استان می‌باشد.

کتابنامه

آبابایی، بهنام؛ سهرابی، تیمور؛ میرزایی، فرهاد؛ رضاوردی نژاد، وحید و بختیار کریمی (۱۳۸۹)، اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه رود دشت اصفهان)، دانش آب‌وخاک، ۱۳۵.

اشرف، بتول؛ موسوی بایگی، محمد کمالی، غلامعلی و کامران داوری (۱۳۹۱)، ارزیابی تغییر مصرف آب گندم و چغندرقند با توجه به اثرات تغییر اقلیم در دو دهه آتی در دشت‌های منتخب استان خراسان رضوی، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰۵.

بابائیان، ایمان و منصوره کوهی (۱۳۹۱)، ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی، نشریه آب‌وخاک، ۹۵۳.

بابابیان، ایمان و زهرا نجفی (۱۳۸۹)، تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۳۹- ۲۰۱۰ با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM، دو فصلنامه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱.

بابابیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابل عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد و شراره ملبوسی (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، جغرافیا و توسعه، شماره ١٦، ۱۳۵-۱۵۲.

حق طلب، نفیسه؛ گودرزی، محسن؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ یاوری، احمدرضا و حمیدرضا جعفری (۱۳۹۲)، مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۳۷-٤۹.

خزانه‌داری، لیلی؛ زابل عباسی، فاطمه؛ قندهاری، شهرزاد؛ کوهی، منصوره و شراره ملبوسی (۱۳۸۸)، دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده، دو فصلنامه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۹۸-۸۳.

خورانی، اسدالله و شهربانو مرودشتی (۱۳۹۳)، بررسی آثار تغییر اقلیم بر میزان بازدید از جزیره هنگام، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۱۲۲-۱۰۹.

روستایی، مریم؛ سهرابی، تیمور؛ مساح بوانی، علیرضا و محمدصادق احدی (۱۳۹۱)، ارزیابی ریسک عملکرد زیست توده گیاه ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم، مجله پژوهش آب در کشاورزی، ٤۲۵.

روشن، غلامرضا و عبدالعظیم قانقرمه (۱۳۹۳)، احتمال تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات منحنی شدت و فراوانی بارش مؤثر در ایستگاه‌های شمال غرب ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ٦۱-٨٤.

سبحانی، بهروز و فخری سادات فاطمی‌نیا (۱۳۹۳)، مدل‌سازی فراسنج‌های اقلیمی استان خراسان جنوبی، مجله پژوهش‌های جغرافی طبیعی، شماره ۳، ۳۳۲-۳۱۱.

شاهکویی، اسماعیل و غلامرضا روشن (۱۳۹۲)، تغییرات زمانی درجه- روز مورد نیاز گیاه سویا بر مبنای دگرگونی‌های اقلیمی دهه‌های آینده مطالعه موردی شهرستان گرگان، فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا، ۵۱-٦٦.

صالح نیا، نسرین؛ موسوی بایگی، محمد و حسین انصاری (۱۳۹۲)، پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از نمایه PDSI به کمک مدل‌های LARS-WG و HadCM3 (مطالعه موردی: حوضه نیشابور)، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۹۳.

ضرغامی، مهدی؛ بابائیان، ایمان؛ حسن‌زاده، یوسف و رضا کنعانی (۱۳۹۱)، مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکی (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، فصلنامه علوم و مهندسی آبخیزداری، شماره ۱۸، ٦۱.

عباسی، فاطمه؛ ملبوسی، شراره؛ بابائیان، ایمان؛ اثمری، محمد و رضا برهانی (۱۳۸۹)، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G نشریه آب‌وخاک، شماره ٢٤، ۲۳۳ -۲۱۸.

علیزاده، امین؛ صالح نیا، نسرین؛ سیاری، نسرین؛ نصیری فیلاورگانی، مائده و کامران داوری (۱۳۹۲)، پیش‌بینی تغییرات احتمالی بارش مؤثر در پهنه‌های اقلیمی ایران برای زراعت گندم (طی دوره ۹۰ ساله آینده)، آبیاری و زهکشی ایران، ۵۷۵.

کوهی، منصوره و حسین ثنایی نژاد (۱۳۹۲)، بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس نتایج حاصل از دو روش ریزمقیاس گردانی آماری برای متغیر تبخیر و تعرق مرجع در منطقه ارومیه، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۵۵۹.

لشکری، اعظم؛ علیزاده، امین و محمد بنایان اول (۱۳۹۰)، بررسی امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تولید ذرت دانه‌ای در شمال شرق ایران، نشریه آب‌وخاک، ۹۲٦.

Alison, L. K., Richard, G. L., & Nicholas, S. R. (2004). RCM rainfall for UK flood frequency estimation: Climate change results. *Journal of Hydrology*, *318*(1), 163-172.

Chang, H., Knight, C. G., Staneva, M. P., & Kostov, D. (2002). Water resource impacts of climate change in Southwestern Bulgaria. *Geo Journal*, *57*(3), 159-168.

Elshamy, M. E., Wheater, H. S., Gedney, N., & Huntingford, C., (2005). Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of Hydrology*, *326*(1), 1-24.

Gordon, C., Cooper, C., Senior, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, … & Wood, R. A. (2000). The simulation of SST, seas ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley center coupled model without flux adjustment. *Climate Dynamic*, *16*(1-2), 147-168.

Harmel, R. D. (2002). Evaluating the adequacy of simulating maximum and minimum daily air temperature with the normal distribution. *Journal of Applied Meteorology*, *41*(7), 744-753.

Harmsen, E., Miller, N. L., Schlegel, N. J., & Gonzalez, J. E. (2009). Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and cop yield in Puerto Rico. *Agricultural Water Management*, *96*(7), 1085-1095.

Hashemi, M. Z., Shamseldin, A. Y., & Melville, B. W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *25*(4), 475-484.

Mavromatis, T., & Hansen, J. W. (2001). Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and Forest Meteorology*, *109*(4), 283-296.

Rajabi, A. (2010, January). *Modeling of Kermanshah climate by means of downscaling model of Lars-wg.* Paper presented at the 2nd National Conference on Utilization Integrated Management of Water Resources, Kerman, Iran.

Rosenberg, N. J., Brown, R. A., Izaurralde, R. C., & Thomson, A. M. (2003). Integrated assessment of Hadley Centre (hadcm2) climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States: I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model. *Agricultural and Forest Meteorology*, *117*(1), 73-96.

Semenov, M. A., & Barrow, E. M. (2002). *A stochastic weather generator for use in climate impact studies.* User Manual: Hertfordshire, UK. Taulis, M. E., & Milke, M. W. (2005). Estimation of WSIM weather simulation parameters in arid climates. *Ecological Modeling*, *184*(2), 177-191.